Havalandırma ve İç Hava Kalitesi Açısından CO_2 Miktarının Analizi

Prof. Dr. Hüsamettin BULUT

ÖZET

İnsanların sağlığı ve verimi ile doğrudan ilişkisi nedeniyle iç hava kalitesinin önemi günümüzde artmaktadır. CO_2 iç hava kalitesini kontrol etmek için önerilen önemli bir iç hava kirleticisidir. Kabul edilebilir iç hava kalitesi oluşturmak için CO_2 hissedicileri iklimlendirme ve havalandırma sistemlerinde kullanılarak, gerekli temiz dış hava iç ortama sevk edilerek ihtiyaca dayalı havalandırma yapılmakta ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bu çalışmada, konut, ofis, derslik gibi değişik ortamlarda CO_2 miktarı ölçümü alınarak, iç hava kalitesi ve havalandırma açısından analizler yapılmıştır. CO_2 miktarının ortamdaki değişimi, kişi sayısı, sıcaklık ve bağıl nem gibi diğer iç hava kalitesi parametreleri ile birlikte incelenmiştir. Doğal havalandırmalı ortamlarda meydana gelen hava sızıntısı hesaplanarak havalandırmanın iç hava kalitesi açısından yeterli olup olmadığı tespit edilmiştir. CO_2 miktarına göre ihtiyaca dayalı havalandırma yapıldığında gerekli havalandırma miktarları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *İç hava kalitesi, havalandırma, CO_2, enerji verimliliği.*

Abstract:

Nowadays, the importance of indoor air quality is increasing due to its direct relation with human health and efficiency. Carbon dioxide is an important pollutant in controlling indoor air quality. CO_2 sensors are used in air-conditioning and ventilation systems in order to achieve acceptable indoor air quality. Demand controlled ventilation was made by supplying required fresh outdoor air to indoor environment. Demand controlled ventilation can make energy saving. In this study, CO_2 levels are measured in different spaces such as house, office and classrooms. The results of measurements are analyzed in view of indoor air quality and ventilation. The relationship and correlation between indoor CO_2 level and other pollutants are determined statistically. Air leakage from infiltration is also calculated. It is seen that natural ventilation rate is not enough for indoor air quality. CO_2 based demand control ventilation is one of the best solution for both acceptable indoor air quality and ventilation strategy.

Key Words:

Indoor air quality; ventilation, CO_2, Energy efficiency.

1. GİRİŞ

İç hava kalitesi, iç ortam havasının temizliği ile ilgili olup karmaşık bir yapıya sahiptir. İnsanların içinde bulunduğu havadan farklı beklentileri olduğu ve farklı algılamalarından dolayı, iç hava kalitesi için kesin sınırlar çizmek veya tanımlamak zordur. Bundan dolayı, "kabul edilebilir iç hava kalitesi" terimi ortaya çıkmıştır. ASHRAE 62–1989, 2001 ve 2004 Standardında kabul edilebilir iç hava kalitesi "İçinde, bilinen kirleticilerin, yetkili kuruluşlar tarafından belirlenmiş zararlı konsantrasyonlar seviyelerinde bulunmadığı ve bu hava içinde bulunan insanların %80 veya daha üzerindeki oranın havanın kalitesiyle ilgili herhangi bir memnuniyetsizlik hissetmediği havadır" olarak açıklanmaktadır [1, 2, 3]. İç hava kalitesi ile bağlantılı olarak Tight Building Syndrom -TBS (Kapalı Bina Sendromu), Sick Building Syndrom-SBS (Hasta Bina Sendromu) ve Building Related Illness-BRI (Bina Bağlantılı Hastalıklar) olarak adlandırılan sağlık problemleri tanımlanmaktadır [4, 5]. Yapılan birçok araştırmada iç ortamdaki kirleticilerin seviyesi, dış ortama göre daha yüksek olduğu görülmüştür [6]. İnsanlar zamanlarının %90'ı gibi büyük bir kıs-

mını iç hacimlerde geçirdiği ve bu hacimlerdeki kirleticilerin ortamdan uzaklaştırılamadığı dikkate alındığında, iç hava kalitesinin neden önemli ve dikkat edilmesi gereken bir konu olduğu ortaya çıkmaktadır.

İç hava kalitesi, sadece konfor için değil, sağlık ve verimlilik için de gereklidir. Binalarda hava kalitesini kontrol için genelde havalandırma ve temizlik olmak üzere 2 yaklaşım benimsenmiştir. Dış hava ile temiz havayı içeri verme olan havalandırmanın yanında havanın filtrasyonu da gerektirmektedir [7]. İç hava kalitesini bozan kirleticiler iç ortam ve dış ortam kaynaklıdırlar. İç ortam kirlilik kaynaklarının başında insan gelmektedir. Bunun yanında iç ortamda bulunan halılar, mobilyalar, temizlik için kullanılan maddeler, sigara dumanı, soba dumanı ve çeşitli amaçlar için kullanılan alet ve cihazlar diğer iç kirleticilerdir. Dış ortam kirleticileri ise atmosfer havasındaki tozlar, polenler, araba egzozları ve endüstriyel kaynaklı havaya atılan kirleticiler olabilir. Dış ortam havasında bulunan kirleticiler, içeri verilen dış hava veya içeri sızan dış hava ile iç hava kalitesini olumsuz etkilerler. Sonuçta iç hava kalitesi düşük olan ortamlarda kirleticilere maruz kalan kişiler, alerji, enfeksiyon, zehirlenme ve yorgunluk gibi çeşitli sağlık problemleri ve rahatsızlıklar yaşarlar.

İç ortamdaki sıcaklık (T), bağıl nem (BN), hava hızı, karbondioksit (CO_2), solunabilinir asılı partikül madde (PM), uçucu organik bileşikler (VOC), azot oksitler (NOx), karbonmonoksit (CO), ozon (O_3), kükürtdioksit (SO_2), radon, formaldehitler (HCHO), bakteri sayısı gibi parametreler ölçülerek iç hava kalitesinin durumu ve değerlendirilmesi yapılmaktadır [8–10].

Bu çalışmada, CO_2 miktarına göre ihtiyaca dayalı havalandırmanın temel prensipleri açıklanmıştır. Ayrıca konut, ofis, derslik gibi değişik ortamlarda CO_2 miktarı ölçümleri alınarak, iç hava kalitesi ve havalandırma açısından analizler yapılmıştır.

2. İÇ ORTAMDAKİ CO_2 MİKTARI

CO_2 iç hava kalitesini kontrol etmek için önerilen önemli bir iç hava kirleticisidir. Normalde atmosfer havasının hacimsel olarak %0.03'ü CO_2'dir. Dış ortam havasında bulunan CO_2, çevre özelliklerine göre 330 ile 500 ppm arasında değişmektedir. Dolayısıyla iç ortamda CO_2'in olmaması mümkün değildir. CO_2 zehirli bir gaz değildir fakat oksijensizlikten boğma tehlikesi ortaya çıkarabilir. Konsantrasyon değeri 35000 ppm'i geçtiğinde, merkezi nefes sinir alıcıları tetiklenir ve nefes alma noksanlığına sebep olur. Daha yüksek konsantrasyonlarda oksijen azlığından dolayı merkezi sinir sistemi görevini yapamamaya başlar [11].

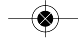
İnsanlar nefes alıp vermeleri ile iç ortama CO_2 verirler. Normal bir iş ile uğraşan bir insan saate 20 litre (0.02 m^3) CO_2 üretir [5]. Bu yüzden iç ortamda havalandırma yapılmazsa insan sayısı artıkça, CO_2 derişimi artar. İnsanlardan mahal havasına aktarılan CO_2 gazı miktarı, meşguliyet durumlarına göre değişebilir. Tablo 1'de insanların meşguliyet durumlarına göre havaya verdikleri CO_2 miktarları verilmiştir [12]. Şekil 1'de ise faaliyet (hareketlilik) düzeyine göre nefes alma miktarı, oksijen tüketimi ve CO_2 üretim miktarının değişimi verilmiştir [13]. Şekilden CO_2 üretiminin ve nefes alma miktarının metabolik aktiviteye bağlı olduğu görülmektedir (1 met=58 W/m^2).

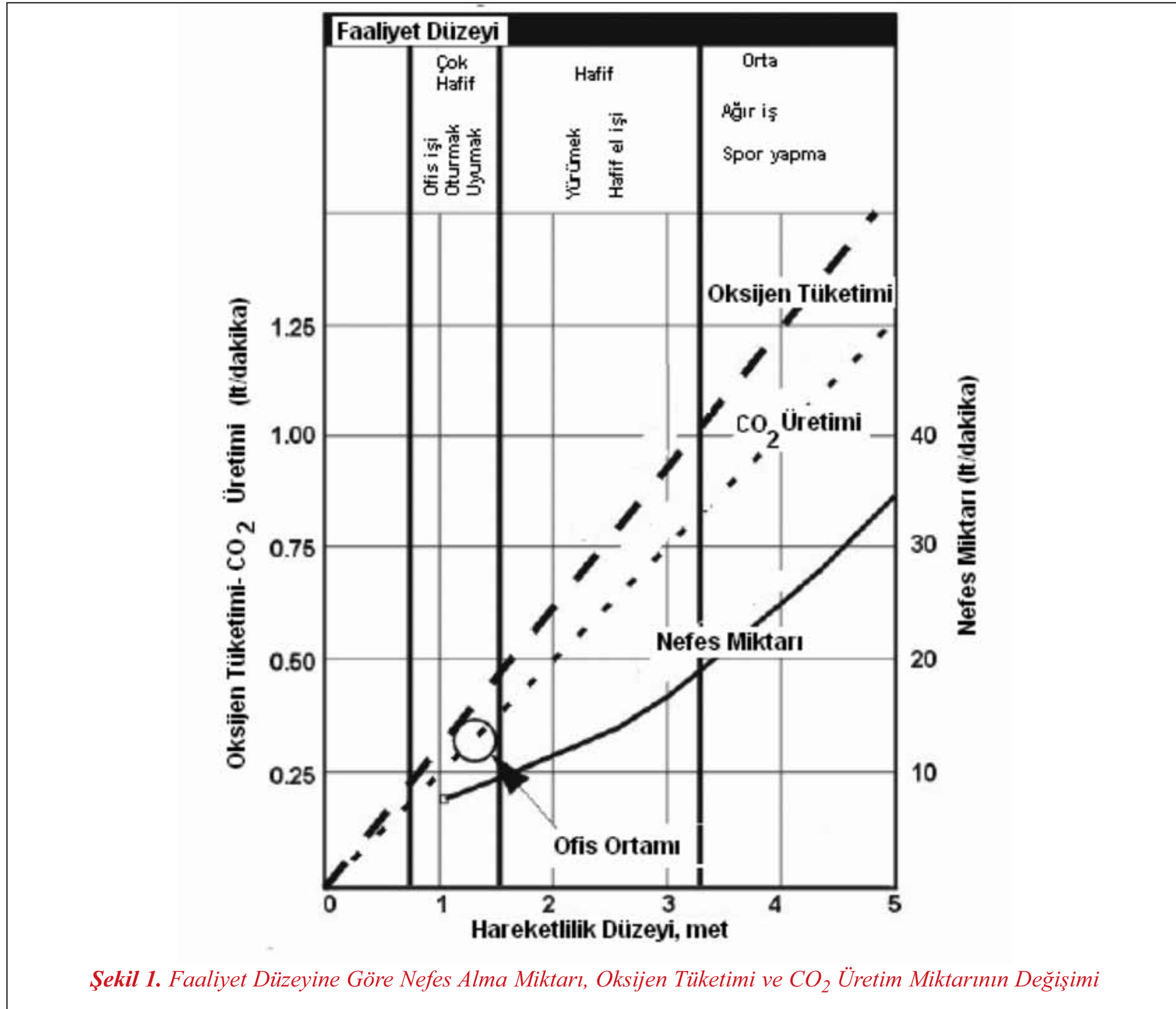
3. CO_2 MİKTARI VE HAVALANDIRMA

Havalandırma, mekanik veya doğal olarak bir mahale hava sağlanması veya mahalden hava alınması

Tablo 1. İnsanların Meşguliyet Durumlarına Göre Havaya Verdikleri CO_2 Miktarı

Durum	Faaliyet derecesi	CO_2 veriş miktarı (litre/saat)
Oturan	I	15
Elle hafif iş yapma	II	23
Elle iş yapma veya yavaş yürüme	III	30
Ağır iş yapma veya hızlı yürüme	IV	30





Şekil 1. *Faaliyet Düzeyine Göre Nefes Alma Miktarı, Oksijen Tüketimi ve CO_2 Üretim Miktarının Değişimi*

olarak tanımlanır. Havalandırma, esasen kirlenen iç havanın tazelenmesidir ve sağlık için yeterli temiz dış hava sağlanmasıdır. Temiz hava için havalandırma miktarı, mahaldeki kişi sayısına, mahal taban alanına ve mahal hava değişimine göre belirlenebilir. Ancak iç hava kalitesi açısından en uygunu ortamdaki CO_2 miktarına göre havalandırma yapılmasıdır. Çünkü mahale verilmesi gereken hava miktarının görevi, iç ortamdaki kirletici oranlarını düşürmek ve kirleticiler için belirlenen seviyelerin üstüne çıkılmasını engellemektir. Mahalde bulunan malzemeler ve insanlardan kaynaklanan kirleticilerin kontrolü gerekmektedir. İnsan tarafından tüketilen oksijen miktarı düşük yoğunluktaki bir mahal için çok küçük olacağı için temiz hava ihtiyacı için ana belirleyici olmamaktadır. Mahaldeki, radon, formaldehite, değişik organik bileşikler, partikül madde, CO_2, kokular ve NOx'ler temel iç ortam kirleticilerdir. Her bir kirletici için mahale göre belirli bir sınır tayin edilmiştir. Ancak, pratik açıdan mahaldeki her bir kirletici miktarının ve konstrasyonun kontrolü mümkün değildir. CO_2 bütün diğer kirleticileri yaklaşık olarak temsil ettiği kabul edilmektedir ve CO_2 miktarına göre havalandırma yapılmaktadır [4].

İç ortamdaki minimum CO_2 derişikliğini sağlamak için, mahale verilmesi gereken hava miktarı (m³/saat);

$$\dot{V} = \frac{\dot{V}_{CO_2}}{C_s - C_d} 10^6 \qquad (1)$$

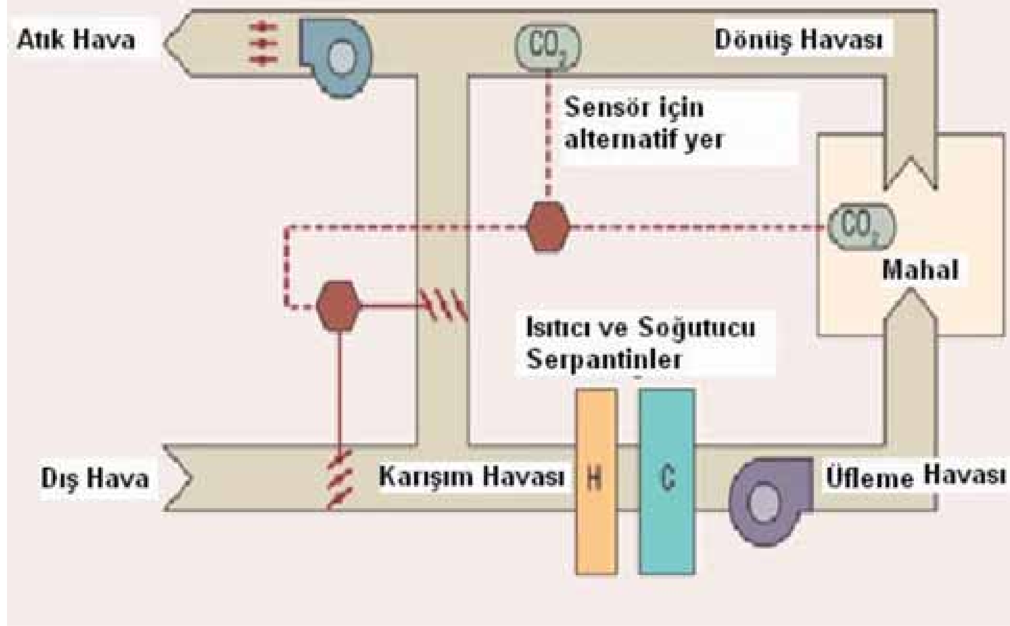
denklemi ile bulunabilir. Burada $\dot{V}_{CO_2}$ mahal içindeki insanların ürettiği CO_2 miktarı (m³/saat), C_s ve C_d ise



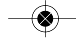
sırasıyla mahalde izin verilen sınır CO_2 miktarı (ppm) ve dış ortam CO_2 miktarını (ppm) vermektedir. Sınır CO_2 miktarı ile ilgili kesin bir değer olmamakla birlikte, CO_2 miktarı için sınır değer 1000 ppm en çok kabul edilen değerdir. Dolayısıyla 1000 ppm CO_2 konsantrasyonu, iç hava kalitesi için temel kabul edilmektedir [1, 2, 4]. Eğer CO_2 miktarı bu seviyeden düşük ise iç ortamdaki hava, kabul edilebilir iç hava kalitesindedir. 1000 ppm CO_2 miktarı, Pettenkofer sayısı olarak da bilinmektedir [5]. Kabul edilebilir iç hava kalitesi oluşturmak için CO_2 hissedicileri havalandırma sistemleri ile kullanılarak, gerekli temiz dış hava iç ortama sevk edilmektedir.

Tiyatro, sinema ve konferans salonları, toplantı odaları, lokantalar, müzeler, mağazalar, spor salonları gibi mahallerin taze hava ihtiyaçları, içinde bulunan insan sayısıyla doğru orantılı olarak değişmektedir. Bu değişim göz önüne alınmayarak maksimum yüke göre hesap yapıldığında ve bu mahallerde az sayıda kişi bulunduğu zamanlarda büyük enerji kayıpları oluşmaktadır. İhtiyaca dayalı havalandırma, havalandırılan mahallerin özelliklerine göre mahaldeki hava kalitesini basit CO_2 hissedicileri veya karma gaz hissedicileri ile ölçerek, mahale verilen taze hava miktarını ihtiyaca göre değiştirerek içerisinin hava kalitesini ideal şartlarda tutan sistemlerdir [14]. Şekil 2'de CO_2 miktarına göre ihtiyaca dayalı bir havalandırma sistemi gösterilmiştir [15].

İhtiyaca dayalı havalandırmanın temel amacı yüksek düzeyde bir iç hava kalitesi sağlama ve aynı zamanda fazla havalandırma yapmayıp enerji tasarrufu sağlamaktır. İhtiyaca dayalı havalandırma en az enerji harcanarak mahal iç hava kalitesini ideal standartta tutan sistemlerdir. Bu da havalandırılan mahalin özelliklerine göre mahaldeki hava kalitesinin basit CO_2 hissedicileri veya karma gaz hissedicileri kullanılarak mümkündür [13]. Karma gaz hissedicileri CO_2 hissedicilerinden daha ucuzdur (CO_2 hissedicilerinin fiyatının yaklaşık 1/3'ü) ve insan burnuna yakın duyarlılıkta tüm kirletici gazları ve uçucuları hissetme özellikleri vardır. Bu nedenle tütün içilen balo salonları, toplantı odaları, lokantalar, giyinme



Şekil 2. CO_2 Kontrollü İhtiyaca Dayalı Havalandırma Sistemi



odaları gibi tüm mahallerde kullanılabilirler. Bu güne kadar elde edilen deneyimler, karma gaz hissedicilerinin küçük ve orta büyüklükteki havalandırma sistemlerinde kullanıldığında daha ekonomik, CO_2 hissedicilerinin ise ancak tütün içilmeyen ve asıl kirlilik kaynağını insanların oluşturduğu büyük ölçekli havalandırma sistemlerinde kullanıldığında ekonomik olduğunu göstermiştir [14].

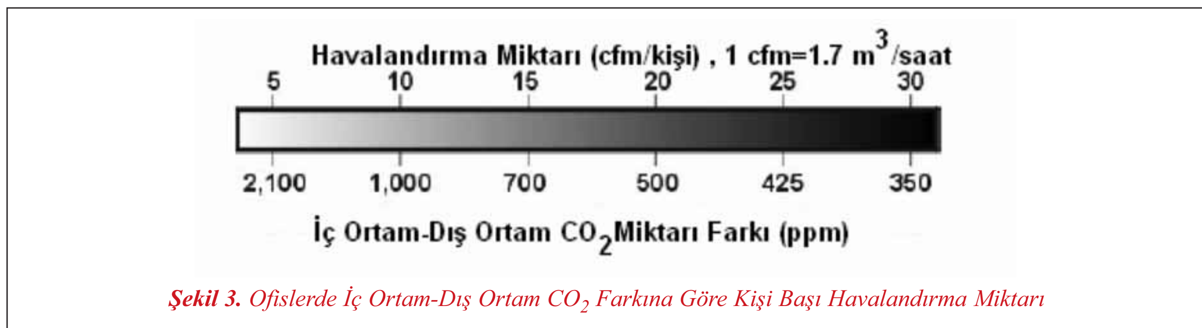
İhtiyaca dayalı havalandırma sisteminde CO_2 sensörü, hava kanalına veya duvara monte edilir. Sensörün yeri, sistem tipine ve binaya göre değişebilir. Kanala monteli CO_2 sensörleri havalandırma sisteminde dönüş kanalına bırakılır. Bu tür uygulamalar, sürekli çalışan ve aktivite olarak aynı aktivitiye sahip ve insan yoğunluğunun aynı olduğu mahallerde uygulanır. Duvara monteli CO_2 sensörleri duvar termostatına benzer şekilde kullanılır. Mahaldeki yeri, kullanılan yerin iç şartlarını gösterecek şekilde olmalıdır. Mahal çıkışlarından, hava menfezlerinden ve insanların sıklıkla oturup kalktıkları yerlerden uzak yerlere konulmalıdır [13].

Tecrübeler ve saha çalışmaları, mahaldeki CO_2 miktarının hava kalitesi için güvenilir bir gösterge olduğunu göstermiştir. Bu yüzden mahaldeki CO_2 miktarı ihtiyaca dayalı havalandırma sistemlerinde belirleyici bir parametre olarak kullanılmaktadır. Çünkü mahallerdeki insanlar CO_2'in ana üreticileridir. Eğer bir mahaldeki insan sayısı ikiye katlanırsa CO_2 miktarı da ikiye katlanır. Eğer mahaldeki insan sayısı azalırsa, CO_2 miktarı da buna paralel olarak azalır [4]. Ancak mahalde başka bir kirletici kaynak varsa havalandırma ihtiyacında bunun göz önüne alınması veya karma gaz algılayıcıların kullanılması gerekir.

CO_2 kontrollü ihtiyaca dayalı havalandırma sistemi, havalandırmanın azaltılması ile enerji tasarrufu sağlanacağı olan geleneksel çatışmayı çözer ve dengeyi sağlar. Eğer düzgün ve uygun bir şekilde uygulanırsa aşağıdaki faydaları sağlar [13];

1. Mahalin aralıklı veya kısmi kullanımında maliyetli aşırı havalandırmayı önleyerek enerji tasarrufu sağlar. Geri ödeme süresi birçok uygulama için 2 yıl veya daha azdır.
2. Kişiye göre gerekli hava miktarını sağlayarak kabul edilebilir iç hava kalitesini oluşturur.
3. CO_2 kontrollü ihtiyaca dayalı havalandırma sistemi sadece dışarıdan temiz hava almak değildir, eğer doğal havalandırma ve hava sızıntısı ile içeri yeterince hava girerse, dışarıdan mekanik olarak alınacak hava miktarı olmaz veya minimum seviyede olur.
4. CO_2 kontrollü ihtiyaca dayalı havalandırma sistemi ile kişi başı istenen hava miktarı (kişi başı 25-85 m³/saat değişebilir) ayarlanabilir.
5. CO_2 kontrollü ihtiyaca dayalı havalandırma sistemi, eğer istenen iç şartlar mevcutsa ve aşırı durumdaki dış hava şartları için ısıl konfor şartlarının artırılmasına da yardımcı olur. Çok soğuk, çok sıcak veya nemli havayı içeri almayarak ısıl konfora yardımcı olur.

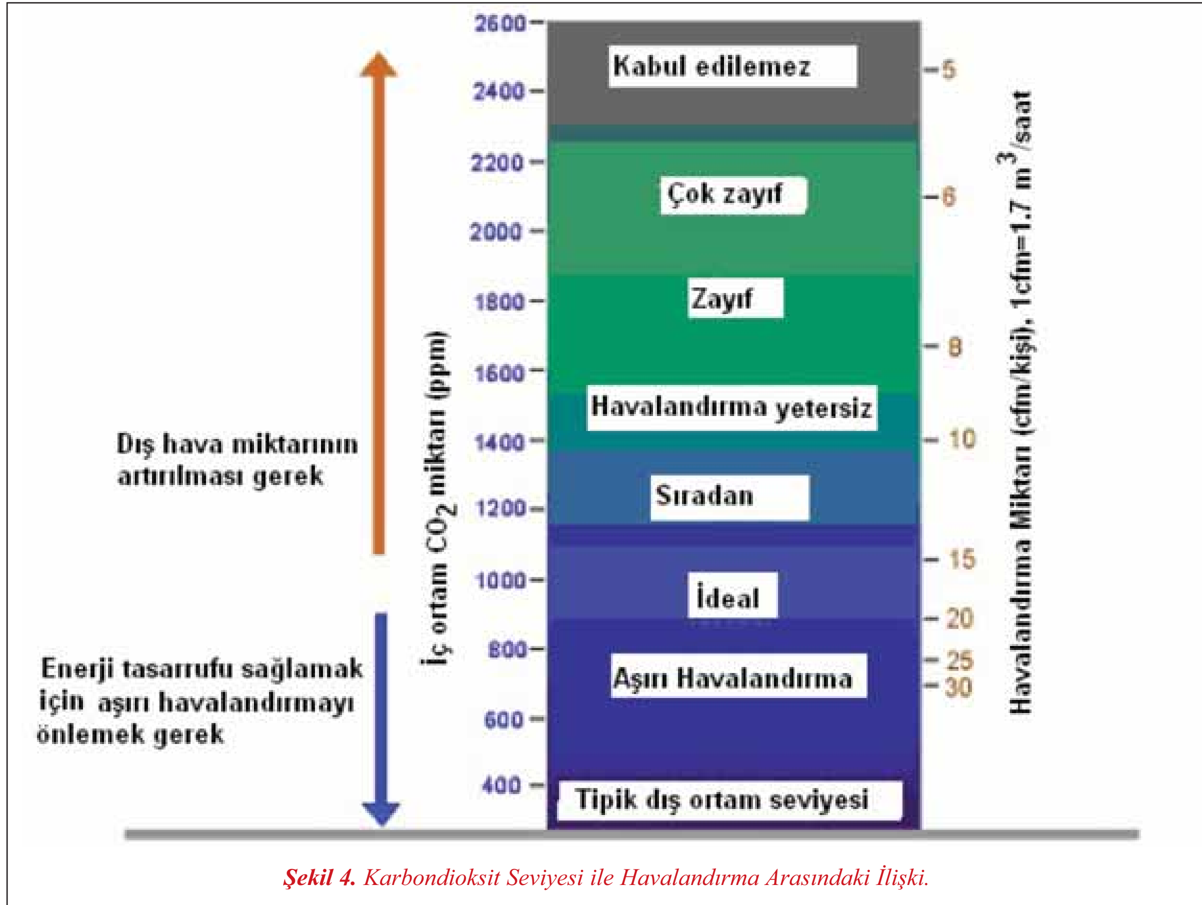
1000 ppm'in üstündeki CO_2 miktarı, yeterli bir iç hava kalitesi elde etmek için havalandırmanın yetersiz olduğunu gösterir. 600 ppm'in altındaki CO_2 miktarı havalandırmanın kısılabileceğini ve enerji tasarrufu yapılabileceğini gösterir. Ofislerde iç ortam-dış ortam CO_2 farkına göre kişi başı havalandırma miktarı şekil 3'te verilmiştir. Karbondioksit seviyesi ile havalandırma arasındaki ilişki ise şekil 4'te gösterilmiştir [4]. Şekilden CO_2 kontrollü ihti-



Şekil 3. *Ofislerde İç Ortam-Dış Ortam CO_2 Farkına Göre Kişi Başı Havalandırma Miktarı*

http://pitrehavalandirma.com/





Şekil 4. Karbondioksit Seviyesi ile Havalandırma Arasındaki İlişki.

yaca dayalı havalandırmada, iç hava kalitesi açısından hassas ihtiyacın belirlenmesinin enerji verimliğine de neden olduğu görülmektedir.

4. HAVA SIZINTISI (İNFİLTRASYON) YOLUYLA İÇ ORTAMA GİREN DIŞ HAVA MİKTARI

Bu çalışmada ölçüm alınan konut, sınıf ve ofisler doğal havalandırmalı olduğundan dış kapı ve pencerelerden infiltrasyon (hava sızıntı) yoluyla iç ortama geçen dış hava miktarı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

Sızıntı yoluyla ısı kaybı,

$$Q = \frac{1}{3.6}\sum(al)RHZ_e\Delta T \qquad (2)$$

denklemi ile belirlenir [15]. Ayrıca, bu ısı kaybı,

$$Q = \dot{V}\rho C\Delta T \qquad (3)$$

Denklemi ile de tespit edilebilir. (2) ve (3) denklemi eşitlenip gerekli işlemler yapıldığında dış hava miktarı, V, [m³/h] olarak;

$$\dot{V} = 0.805\sum(al)RHZ_e \qquad (4)$$

olarak hesaplanabilir. Denklemlerdeki terimler;

a : Sızdırganlık katsayısı (m^3/mh),
l : Dış duvarlar üzerinde bulunan pencere veya kapıların açılan kısımlarının çevre uzunluğu (m),
R : Oda durum katsayısı (Yapı iç hacminin rüzgâr geçirgenlik katsayısı) (Boyutsuz),
H : Bina durum katsayısı (Rüzgâr etkinliği katsayısı) (kJ/m^3K),
ΔT : İç ve dış sıcaklıklar arasındaki fark (K),
Z_e : Köşe açıklıkları etki katsayısı (Her iki dış duvarında pencere olan odalar için 1.2, diğer odalar için 1 alınır),

olarak tanımlanmıştır. R (0.7), H (3.52), a (2) katsayıları tablolardan alınmıştır [15]. “l” değeri ise mahallerde pencere ve kapıların açılan kısımları ölçülerek tespit edilmiştir.

Denklem 3’te ortalama dış hava sıcaklığı göz önüne alınarak, ρ, hava yoğunluğu 1.235 kg/m³ ve C, hava özgül ısısı ise1006 J/kg K olarak alınmıştır [16].

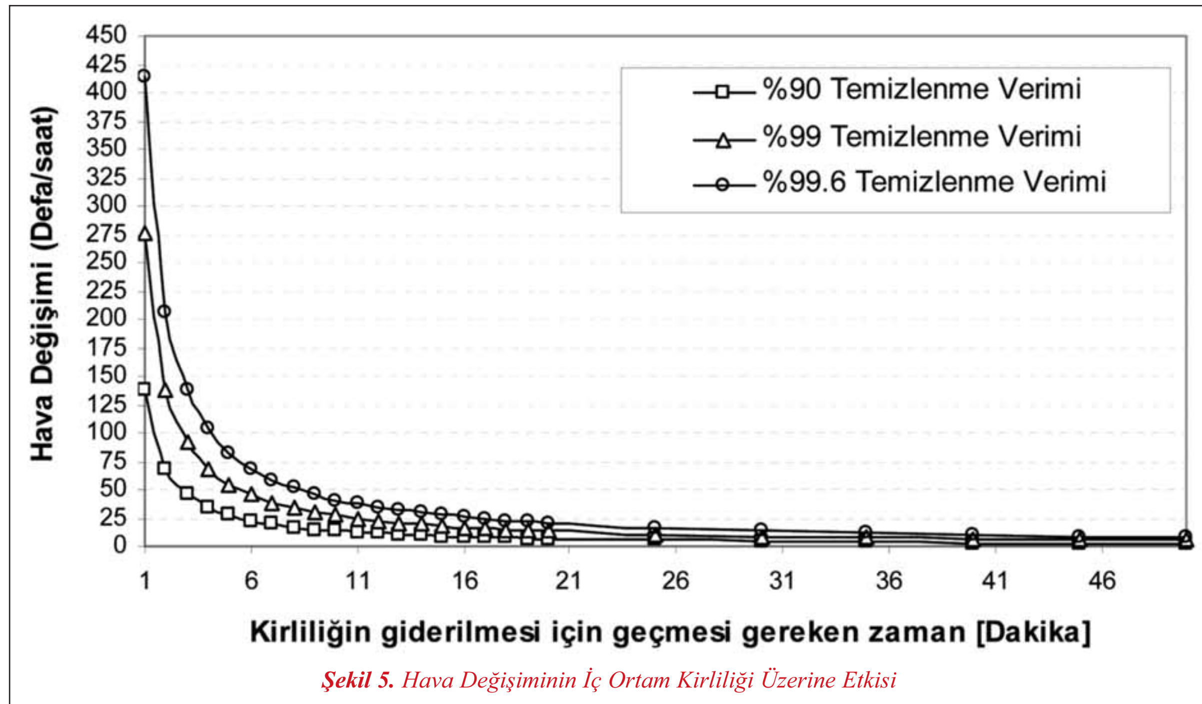
Odanın hava değişim sayısı, HDS [1/saat],

$$HDS = \frac{\dot{V}}{V_{oda}} \qquad (5)$$

denkleminden hesaplanabilir. V_{oda} odanın hacmini [m³] göstermektedir. Mekanik (Cebri) havalandırmada hava değişim katsayısına göre oda havasındaki kirleticilerin bertaraf edilmesi için gerekli olan zaman miktarı temizlenme verimi yüzdesine (%90, %99 ve %99.6) göre Şekil 5’te verilmiştir [4]. Şekilden hava değişim katsayısı çok yüksek olsa dahi havadaki kirlilik miktarının azalması için belirli bir zamana ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

5. TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, el tipi lazer Partikül Madde Ölçer (Met One Aerocet 531), CO_2 Ölçer (Testo 535 ve Kanomax 2221), Sıcaklık-Nem Ölçer (Impac Tastotherm-Hum RP 2 ve Kanomax 2221) cihazları kullanılmıştır. Kanomax 2221 iç hava kalitesi monitörünün CO_2 ölçüm aralığı 0–5000 ppm ve hassasiyeti ±1ppm’dir. Testo 535 CO_2 ölçerin ise ölçüm aralığı 0–9999 ppm ve hassasiyeti ±1ppm’dir. Ölçümler, Ocak 2007 - Temmuz 2008 arası Şanlıurfa merkezde bulunan bir konutta ve Harran Üniversitesi Osmanbey Yerleşkesi Mühendislik Fakültesi binasında bulunan ofis ve sınıflarda yapılmıştır. Tüm mahaller merkezi kalorifer sistemi ile ısıtılmakta ve doğal havalandırma ile havalandırılmaktadırlar. Sınıflar ve ofislerin bazıları, yazın split tip klima ile soğutulmaktadır. Ofis ve dersliklerde çift camlı PVC pencereler, konutta ise tek camlı ahşap pencereler bulunmaktadır. Konutta kış mevsiminde, ofis ve dersliklerde ise kış ve yaz mevsiminde ölçümler alınmıştır. Analizlerde konut için 57, sınıf için 65 ve ofis için 81 ölçüm verisi kullanılmıştır. Konutta, ölçümler oturanların hepsinin bir arada olduğu akşam saatlerinde kış boyunca her ay farklı günlerde alınmıştır. Sınıflarda eğitimin devam ettiği dönemlerde ders ve sınavların yapıldığı zamanlarda ölçümler alınmıştır. Ofislerde ise ölçümler yaz ve kış sezonlarında her ayda farklı günlerde mesai saatleri içinde yapılmıştır. Tüm ölçümler mahallerin farklı



Şekil 5. *Hava Değişiminin İç Ortam Kirliliği Üzerine Etkisi*

bölgelerinde nefes alma yüksekliklerinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2'de sırasıyla konut, ofis ve sınıflarda alınan iç hava kalitesi ölçümlerin ortalama, en düşük ve en yüksek değerleri verilmiştir. Tablodan ortalamalarda en büyük CO_2 miktarı kişi yoğunluğundan dolayı sınıflarda ölçülmüştür. Dış ortam CO_2 miktarının 313–475 ppm arasında değiştiği görülmektedir. Tablo 3'te iç ortam CO_2 miktarının dış ortam CO_2 miktarına oranı için istatiksel değerler tüm mahaller göz önüne alınarak verilmiştir. Çizelgeden iç/dış CO_2 oranının her zaman 1 değerinden büyük olduğu görülmektedir. Konuttaki oranın büyük çıkması ölçümlerin sadece kış mevsiminde alınmasından dolayıdır. Fakat sınıflardaki iç/dış CO_2 oranının da çok yüksek değerlerde olduğu gözlenmiştir.

Tablo 4'te CO_2 ve diğer ölçüm parametreleri arasındaki ilişkiyi veren korelasyon katsayıları ve önem seviyeleri verilmiştir. Tabloda üsteki birinci hücrede korelasyon katsayısı, alttaki hücrede ise önem seviyesi bulunmaktadır. Örneğin konutta alınan ölçüm sonuçlarına göre kişi sayısı ve CO_2 miktarı için korelasyon katsayısı 0.508, önem seviyesi p=0'dır. Bu durum parametreler arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermekte ve p=0 olması seçilen p=0.05 önem seviyesine göre küçük olduğundan sonucun istatistiksel olarak anlamlı olduğunu belirtir. Çizelgeden görüleceği gibi CO_2 miktarı ile kişi sayısı, bağıl nem (BN) ve partikül madde (PM) miktarları arasında pozitif bir korelasyon vardır. Bu durum CO_2 miktarının iç hava kalitesi açısından bu parametreleri de temsil edebileceğini göstermektedir. Tüm mahaller beraber incelendiğinde CO_2 ve kişi arasındaki korelasyonun zayıf çıkmasının nedeni konut ve sınıfta düşük yoğunlukta insan olmasından kaynaklanmaktadır. Fakat diğer parametrelerle anlamlı düzeylerde korelasyon olduğu görülmektedir.

Tablo 5'te ölçüm alınan mahallere ait sızıntı yoluyla içeri giren dış hava miktarı, hava değişim sayıları (HDS) ve kişi başı 30 m³/saat dış hava ihtiyacına göre gerekli dış hava miktarı değerleri verilmiştir. Tablodan hava değişim sayılarının çok düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Konutta yüksek çıkmasının sebebi pencerenin tek cam ve ahşap olmasıdır. Sınıf ve ofislerde pencereler PVC ve çift camlı olması hava infiltrasyonunu önemli derecede düşürmektedir. Ancak tablodan sızıntı yoluyla içeri giren dış hava miktarının havalandırma ve iç hava kalitesi açısından yeterli olmadığı görülmektedir. Bu durum iç ortamdaki kirletici derişimlerini de istenen seviyelere düşürememektedir. Tablo 6'da CO_2 miktarına ve normal kişi başı 30 m³/saat kabulüne göre verilmesi gereken hava miktarları arasındaki farklar verilmiştir. Tablodan CO_2 miktarına göre hava miktarının daha az olduğu görülmektedir.

Tablo 3. İç Ortam CO_2 Miktarının Dış Ortam CO_2 Miktarına Oranı (İç/Dış CO_2)

	Tüm Mahaller	Konut	Sınıf	Ofis
Ortalama	2.88	3.60	2.70	2.52
Minimum	1.01	1.77	1.20	1.01
Maksimum	6.54	6.28	6.54	4.43

Tablo 2. Mahaller İçin Alınan İç Hava Kalitesi Ölçümlerinin İstatistiksel Değerleri

Mahal			İç ortam								Dış Ortam		
		Kişi	T °C	BN %	CO_2 ppm	PM_1 mg/m³	$PM_{2.5}$ mg/m³	PM_7 mg/m³	PM_{10} mg/m³	TSP mg/m³	T °C	BN %	CO_2 ppm
Konut	Ortalama	3.3	23.3	52.7	1307	0.005	0.05	0.1119	0.146	0.2508	12.3	61.5	365
	Minimum	1	18	39.3	683	0	0.015	0.03	0.039	0.0635	3.43	30.7	313
	Maksimum	6	25.3	63	2080	0.014	0.1415	0.373	0.488	0.7655	18	95.3	430
Sınıf	Ortalama	25	24.4	38.9	998	0.003	0.0325	0.065	0.129	0.101	23.2	38.7	374
	Minimum	0	17.5	25	453	0	0.002	0.013	0.014	0.0067	7.7	18	326
	Maksimum	49	30.5	62.2	2324	0.026	0.11	0.203	0.92	0.278	36	94.3	475
Ofis	Ortalama	1.6	23.1	42.7	885	0.005	0.0265	0.0406	0.046	0.0622	22.6	38.9	352
	Minimum	1	17.8	29.2	344	0	0.001	0.003	0.003	0.004	6.8	10	315
	Maksimum	5	31	57.5	1685	0.136	0.485	0.543	0.62	0.707	38	94.2	456

Tablo 4. İç Ortam İçin CO_2 ve Diğer Ölçüm Parametreleri Arasındaki Korelasyon Katsayıları ve Önem Seviyeleri

Mahal	Kişi	T	BN	PM1	PM2.5	PM7	PM10	TSP
Konut	0.508	-0.043	0.555	0.439	0.322	0.232	0.229	0.277
	0	0.752	0	0.001	0.015	0.082	0.087	0.037
Sınıf	0.379	-0.352	0.564	0.388	0.06	0.009	0.298	0.056
	0.001	0.003	0	0.001	0.627	0.941	0.014	0.653
Ofis	0.48	-0.132	0.3	0.367	0.223	0.142	0.131	0.117
	0	0.24	0.006	0.001	0.045	0.205	0.244	0.299
Tüm Mahaller	0.109	-0.216	0.564	0.254	0.221	0.239	0.301	0.334
	0.118	0.002	0	0	0.001	0.001	0	0

Tablo 5. Sızıntı Yoluyla İç Ortama Geçen Dış Hava Miktarları ve Standartlara Göre Verilmesi Gereken Dış Hava Miktarları (Kişi başı 30 m^3/saat kabulü ile)

Mahal	Ortalama Kişi sayısı, n	Sızıntı dış hava miktarı, $\dot{V}$ [m^3/saat]	HDS [1/saat]	Gerekli dış hava miktarı [m^3/saat]
Konut	3.3	78	1.8	99
Sınıf	25	125	0.42	750
Ofisler	1.6	12.8	0.26	48

Tablo 6. Mahallere Verilmesi Gereken Temiz Dış Hava Miktarları

		CO_2 miktarına göre m^3/saat	Kişi başı 30 m^3/saat	Fark, m^3/saat
Konut	Ortalama	74	94	20
	Minimum	22	30	5
	Maksimum	150	180	45
Sınıf	Ortalama	566	717	151
	Minimum	24	30	6
	Maksimum	1244	1470	495
Ofis	Ortalama	81	100	20
	Minimum	22	30	5
	Maksimum	1195	1350	277
Tüm Mahaller	Ortalama	232	293	61
	Minimum	22	30	5
	Maksimum	1244	1470	495

SONUÇ

Değişik mahaller için iç ortamdaki CO_2 miktarları ölçülerek, iç hava kalitesi ve havalandırma açısından incelenmiştir. CO_2 miktarı kontrol edilerek ihtiyaca dayalı havalandırmanın temel esasları anlatılmıştır.

Konut, sınıf ve ofislerde iç hava kalitesi ölçümleri alınarak, CO_2 miktarının diğer parametrelerle ilişkisi incelenmiştir. CO_2 miktarı ile kişi sayısı, bağıl nem, partikül madde miktarları arasında pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir. CO_2 miktarının havalandırma için yeterli bir parametre olduğu görülmüştür. CO_2 miktarına göre havalandırma miktarları belirlenmiş ve CO_2 miktarına göre havalandırma yapıldığında enerji tasarrufu sağlanacağı görülmüştür.

Doğal havalandırmanın iç hava kalitesini sağlamadığı görülmüştür. Konutlarda ahşap pencerelerde hava infiltrasyon miktarının göreceli olarak yüksek olduğu fakat iç hava kalitesi açısından yeterli olmadığı

tespit edilmiştir. Sınıf ve ofislerde bulunan çift camlı PVC pencerelerin sıkı olması hava sızıntısının engellemesi açısından iyi olduğu ancak temiz hava sağlamak açısından iyi olmadığı görülmüştür. Dersliklerin mutlak şekilde temiz hava ile beslenmesi gerekir. Dersliklerde, havalandırmanın CO_2 miktarına göre havalandırma yapılması enerji verimliliği açısından daha uygun olacaktır.

İnsan sayısının değişiklik gösterdiği sınıf, ofis, toplantı salonları ve banka gibi mahallerde en az enerji harcanarak ısıl konfor ve iç hava kalitesi, CO_2 ölçümüne göre çalışan ihtiyaca dayalı havalandırma sistemleri kullanılarak sağlanabilir. Klasik havalandırma sistemi, enerji israfına ve kaynakların boşuna harcanmasına neden olabilir.

Sonuç olarak iyi bir iç hava kalitesi oluşturmak için mahaller için havalandırma sistemi kurulmalıdır. Enerji tasarrufu ve sağlıklı ortamlar için çalışanların iç hava kalitesi ile ilgili bilgilendirilmesi gerekir. Enerji verimliliği açısından CO_2 kontrollü ihtiyaca dayalı havalandırma sistemlerinin kullanılması daha uygundur. Ayrıca havalandırma sisteminde filtrasyonun yani hava temizliğinin iyi yapılması gerekir.

Kaynaklar

[1] ASHRAE, "Standard 62- 1989- Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 1989.

[2] ASHRAE, "Standard 62- 2001- Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2001.

[3] ASHRAE, "Standard 62.1-2007 user's manual", Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2007.

[4] BAS, E., "Indoor Air Quality-A Guide for Facility Managers", The Fairmont Pres, 2004.

[5] SCHRAMEK, E., "Recknagel-Sprenger Schramek - Isıtma ve Klima Tekniği El Kitabı", TTMD, Ankara. 1999.

[6] MONTGOMERY, D.D., KALMAN, D.A., Indoor/Outdoor Air Quality: Reference Pollutant Concentrations in Complaint-Free Residences, Applied Industrial Hygiene, 4 ,17-20, 1988.

[7] KREIDER, J.F., RABL, A., "Heating and Cooling of Buildings-Design for Efficiency", McGraw-Hill Inc., 1994.

[8] BULUT, H., Isıtma Sezonunda Ofislerde İç Hava Kalitesinin Araştırılması, İklim 2007- II. Ulusal İklimlendirme Kongresi Bildiriler Kitabı, 285-295, Antalya, 2007.

[9] BULUT, H., Konutlarda İç Hava Kalitesi İle İlgili Ölçüm Sonuçlarının Analizi, Teskon 2007 VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, 415-427, İzmir, 2007.

[10] KUŞ, M., OKUYAN, C., BULUT, H., BULGURCU, H., Üniversite Dersliklerinde İç Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi, 8. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu / 8. International HVAC +R Technology Symposium, 223-237, İstanbul, 2008.

[11] ASHRAE, "ASHRAE HandbookCD, 2001 Fundamentals", Chapter 9: Indoor Environmental Health, Atlanta, USA, 2003.

[12] DOĞAN, H., "Uygulamalı Havalandırma ve İklimlendirme Tekniği", Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2002.

[13] SCHELL; M. B., TURNER, S. C., OMAR, S. Application of CO_2-Based Demand-Controlled Ventilation Using ASHRAE Standard 62: Optimizing Energy Use and Ventilation, ASHRAE Transactions, 104(2), 1213-1225, 1998.

[14] AYTEK, U., Hava Kalitesi Kontrolü ve İhtiyaca Dayalı Havalandırma, III. Ulusal Tesisat Kongresi ve Sergisi, 859-866, 1997.

[15] MURPHY, J., CO_2-Based Demand-Controlled Ventilation with ASHRAE Standard 62.1-2004, Engineers Newsletter, 34(5), 1-8, 2005.

[16] KARAKOÇ, H., "Kalorifer Tesisatı Hesabı", Demir Döküm Teknik yayınları, No:9, 2006.

[17] TAMER, Ş., "Klima ve Havalandırma", Meteksan A.Ş., Ankara, 1990.